

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106070760

洪巧巧, 庄平, 杨刚, 张涛, 侯俊利, 章龙珍, 智玉龙, 张航利, 杨阳. 长江口中国花鲈食性分析. 生态学报, 2012, 32(13): 4181-4190.

Hong Q Q, Zhuang P, Yang G, Zhang T, Hou J L, Zhang L Z, Zhi Y L, Zhang H L, Yang Y. Feeding habits of *Lateolabrax maculatus* in Yangtze River estuary. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4181-4190.

长江口中国花鲈食性分析

洪巧巧^{1,2}, 庄平^{2,*}, 杨刚^{2,3}, 张涛², 侯俊利², 章龙珍²,
智玉龙³, 张航利³, 杨阳³

(1. 华东理工大学, 上海 200237;

2. 农业部海洋与河口渔业资源及生态重点开放实验室, 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090;

3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 中国花鲈(*Lateolabrax maculatus*)是长江口重要的经济鱼类之一。根据 2010 年 7 月至 10 月在长江口崇明东滩团结沙和东旺沙水域采集到的胃含物样品, 对中国花鲈的摄食习性进行了研究。结果表明, 从中国花鲈胃含物中共鉴定出 6 类 27 种饵料生物, 其多样性指数 H' 值为 2.484, 均匀度指数 J' 为 0.7535, 优势指数 D 为 0.1262。采用百分比相对重要性指数($IRI\%$)和综合指标优势指数(I_p)分析的结果较一致, 鱼类是长江口中国花鲈夏季主要食物, 其百分比相对重要性指数($IRI\%$)和综合指标优势指数(I_p)分别为 82.63% 和 94.48, 鲢(*Liza haematocheila*)为优势饵料生物($IRI\% = 41.89, I_p = 53.20$)。团结沙和东旺沙中国花鲈食性差异较大, 主成分分析(PCA)表明鲢属(*Coilia* spp.)、舌虾虎鱼(*Glossogobius giuris*)、脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)和雷伊著名团水虱(*Gnorimosphaeroma rayi*)是造成这种差异的主要饵料生物种类。

关键词: 中国花鲈; 长江口; 食性分析; 胃含物; 累积饵料生物总数曲线; 主成分分析

Feeding habits of *Lateolabrax maculatus* in Yangtze River estuary

HONG Qiaoqiao^{1,2}, ZHUANG Ping^{2,*}, YANG Gang^{2,3}, ZHANG Tao², HOU Junli², ZHANG Longzhen², ZHI Yulong³, ZHANG Hangli³, YANG Yang³

1 East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China

2 Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries Resources and Ecology, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China

3 College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: *Lateolabrax maculatus*, an estuary migratory species with high commercial value, is widely distributed in waters of the west Pacific Coast and in the Yangtze Estuary. However, collapse has been occurring of *L. maculatus* stocks after overfishing and habitat destruction for the extra activity of the human beings. Furthermore, the collapse stocks are impacting on the ecological function of broad water area near Yangtze Estuary. *L. maculatus*, being on the trophic levels of food chain, importantly affects regulation of animals at lower trophic level of Yangtze Estuary. Similarly, the remove of *L. maculatus* from the estuary will certainly cause a trophic cascading effect on the community, and possibly alter the abundance of species which maintain the whole food chain.

In order to investigate the composition of prey species, 265 samples of *L. maculatus* were collected from July to October, 2010, of Yangtze Estuary. Stomach contents of each fish were examined. The result showed that stomachs of 18.

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201203065); 青草沙水库临近水域生态修复专项; 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2010CB429005); 长江口中华鲟自然保护区专项

收稿日期: 2011-06-07; 修订日期: 2011-11-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pzhuang@online.sh.cn

11% fish were empty. Cumulative prey curves for the entire sets from Yangtze estuary, sample sets from points of Tuanjiesha and Dongwangsha, are all fitting better with logistic curve than with a linear relation. Therefore the sample size was considered sufficient to describe the diet of *L. maculatus*. The results also showed that, the diet of *L. maculatus* consisted of 27 prey items from a widely array of biological groups which belongs to 6 kinds of Fishes, Shrimps, Crabs, Stomatopoda, Isopoda and Veneroida. Results of the resource indices indicate a diverse diet: prey diversity, $H' = 2.484$; prey evenness, $J' = 0.7535$; prey dominance, $D = 0.1262$.

The importance of the different prey items were evaluated by the frequency of occurrence, abundance and mass followed with using these dates to calculate the Index of Relative Important (*IRI*) for each taxonomic category, and the Index of Preponderance (I_p) which did not incorporate N into the formula. Percent Index of Relative Important values indicated that the three most important kinds in 217 stomachs of *L. maculatus* were Fishes (82.63 *IRI%*), Shrimps (10.78 *IRI%*) and Isopoda (4.02 *IRI%*). Index of Preponderance values indicated that Fishes (94.48 I_p) is the most important kind, Shrimps (4.08 I_p) is the second kind, Crabs (1.28 I_p) is the third one. Combining the values of two indices, *Liza haematocheila* was the dominant species in both terms of *IRI%* (41.89) and I_p (53.20). *Exopalaemon annandalei* and *Gnorimosphaeroma rayi* were dominant food items in terms of *IRI%* but showed a very low I_p . *Saurogobio dumerili* and *Lateolabrax maculatus* were dominant food items in terms of I_p but shows a smaller data. Combining with other indices, it is found that the main contribution for fishes to the feeding habit of *L. maculatus* was their large weight, and the main contribution for other species was their abundance. In the present study, the importance of different prey items could not be evaluated by any single index. Based on above facts, five species mentioned above were all dominant food items of *L. maculatus*.

The value of prey diversity measured for *L. maculatus* was 2.484 which are considered moderate level, thus making fairly easy to find anyone of the 27 prey items from samples of *L. maculatus*'s. The result of feeding habits for *L. maculatus* is unlike previous studies, and there were obvious changes among the dominant species. According to analysis of the dates of PCA, differences of food items for two sampling points and the entire sets of Yangtze Estuary were being emerged. There were significant dietary shifts among samples from points of Tuanjiesha, Dongwangsha and the entire sets of Yangtze River estuary. According to principal components analysis, it is speculated that the difference is mainly caused by *Coilia spp.*, *Glossogobius giuris*, *Exopalaemon carinicauda* and *Gnorimosphaeroma rayi*.

Key Words: *Lateolabrax maculatus*; Yangtze River estuary; feeding habits; stomach content; cumulative prey curve; PCA

鱼类摄食生态学是鱼类生态学的重要组成部分,通过摄食生态学研究可为进一步研究和掌握种群动态提供基础资料。鱼类摄食生态学的研究以胃(肠)含物分析为基础,其研究层次可分为个体水平、种群水平和群落水平^[1]。鱼类的食性研究是鱼类生态学基础研究之一,它了解鱼类生态学,了解其在生存环境中的生态作用起着重要作用^[2]。

中国花鲈(*Lateolabrax maculatus*)又称鲈鱼、七星鲈鱼,属鲈形目(Perciforms),鲈科(Serranidae)、鲈属(*Lateolabrax*),为长江口习见鱼类,广泛分布于我国黄海、渤海、东海和南海^[3]。目前,国内外学者已对中国花鲈的育种^[4]、营养学^[5]以及中国花鲈和日本鲈(*Lateolabrax japonicus*)分类学^[6]进行了相关研究,但是对长江口中国花鲈的研究仍然较少。中国花鲈为肉食性鱼类^[7],属于最高营养级鱼类之一^[8]。中国花鲈作为长江口重要经济鱼类之一^[9],其数量受捕捞强度影响较大,且其数量的改变可能导致其所处环境的一种营养级联效应,即高营养级鱼类对低营养级饵料生物产生的下行控制作用^[10],可能会改变低营养级物种的丰度^[11]。

本研究旨在通过对长江口中国花鲈进行食性分析,了解它与下行食物链鱼种之间的数量关系;同时,通过与历史资料进行比较,了解中国花鲈在长江口生态环境中所处的地位和作用。

1 材料与方法

1.1 样品采集

样品取自 2010 年 7 月至 10 月长江口崇明东滩东旺沙(121°00'E, 31°31'N)和团结沙(121°59'E, 31°28'N)(图 1)潮间带水域的插网作业。共采集中国花鲈样品 265 尾,其中有效胃含物样本 217 个,空胃率为 18.11%。中国花鲈体长分布范围为 66.1—804.9 mm,平均体长为 171.6 mm,其中体长 ≤ 10 mm 中国花鲈样品 53 尾,体长范围在 10—20 mm 中国花鲈样品 164 尾,体长范围在 20—30 mm 样品 49 尾,体长 ≥ 30 mm 中国花鲈样品 16 尾。体重分布范围为 6.36—7270.48 g,平均体重为 228.82 g。

1.2 分析方法

在采集现场解剖鱼类,取出消化道编号后保存于 95% 的乙醇中。样品带回实验室后进行食性分析,先用吸水纸吸去消化道表面的水分,测定消化道总重,并记录摄食等级,根据解剖分析食物团,记录消化等级。利用 OLYMPUS SZX9 体式显微镜进行食物种类鉴定,并尽可能鉴定到种。

1.3 数据处理

1.3.1 累积饵料生物总数曲线

采用累积饵料生物总数曲线来评估样本量是否足以进行分析^[12]。使用 PRIMER 5.0 软件对胃含物(非空胃)随机排列 999 次,高随机数量能减少由于样品排序的不同而带来的偏差^[12]。随着样本量的增加,物种丰富度的变化减小,被捕食的新饵料生物种类减少,曲线接近于渐近线。为了评估曲线是否为趋近线,对曲线进行 Logistic 曲线拟合和线性关系分析,比较其拟合度 R^2 ,当 Logistic 曲线拟合度大于线性关系的拟合度时,则认为曲线为趋近线^[13]。

1.3.2 重要性指数

描述饵料类群重要性的单一性指数有以下 3 个:

$$\text{数量百分比}(N\%) = \frac{\text{某种饵料生物个数}}{\text{所有饵料生物总个数}} \times 100$$

$$\text{重量百分比}(W\%) = \frac{\text{某种饵料生物重量}}{\text{所有饵料生物总重量}} \times 100$$

$$\text{出现频率}(F\%) = \frac{\text{某种饵料出现频次}}{\text{有食物胃的个数}} \times 100$$

采用两种综合性指数,即相对重要性指数(IRI)^[14]和综合指标优势指数(I_p)^[15],亦称 Modified index^[13]来评估饵料生物的重要性。 IRI 越高,饵料生物的重要性就越高,将 IRI 用百分比的形式表示,即百分比相对重要性指数($IRI\%$),同样, I_p 可根据组成中各种饵料数值排序,适合度量饵料组成中的主要饵料:

$$IRI = F\% \times (N\% + W\%)$$

$$IRI\% = \frac{IRI}{\sum IRI} \times 100$$

$$I_p = \frac{W_i F_i}{\sum W_i F_i} \times 100$$

式中, W_i 表示的是第 i 种饵料生物的重量百分比, F_i 表示的是第 i 种饵料生物的出现频率。

利用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')和饵料优势指数(D)^[16]对长江口中国花

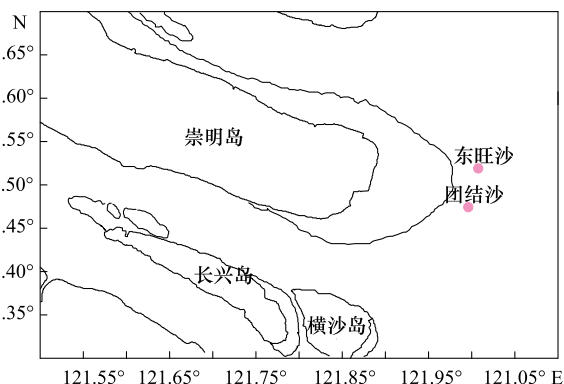


图 1 长江口中国花鲈的取样位点

Fig. 1 Sampling stations for *Lateolabrax maculatus*.

鲈的食物生态位宽度进行分析。 H' 值越高,表示中国花鲈的摄食宽度越大。 J' 用于将 H' 的值被标准化为 0—1 的范围,直观显示饵料生物的多样性:

$$H' = -(\sum P_i \times \ln P_i)$$

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

$$D = \sum P_i^2$$

式中, S 为饵料生物种类数, P_i 为第 i 种饵料生物在饵料组成中的数量百分比。

1.3.3 不同采样点间食性比较

使用 Morisita 简化相似性指数^[16]对团结沙和东旺沙这两个位点的中国花鲈的饵料生物进行比较,为了便于比较,采用 $IRI\%$ 来进行计算:

$$C = \frac{2 \times (\sum P_{ij} P_{ik})}{\sum (P_{ij})^2 + \sum (P_{ik})^2}$$

式中, C 为 Morisita 简化相似性指数, j, k 分别表示两个不同的采样点, i 表示的是饵料生物, P_{ij} 和 P_{ik} 分别为采样点 J 和 k 中饵料生物 i 的比例。 C 值介于 0—1 之间,0 表示食性没有重叠,1 为完全重叠,若 $C \geq 0.6$ 则表示食性相似性显著^[17]。

为进一步研究两个采样点中国花鲈食性结构的差异,以及对总样品食性组成的贡献程度,利用 PRIMER 5.0 软件对团结沙、东旺沙和总样品的 $IRI\%$ 进行主成分分析(PCA)^[18]。

2 结果与分析

2.1 样本有效性分析

团结沙和东旺沙采样点非空胃样品数分别为 99 尾和 118 尾,长江口有效样品总数为 217 尾。对长江口 217 有效样品和两个采样点的样品分别进行累积饵料生物总数曲线分析(图 2)。结果显示,长江口中得到曲线对 Logistic 曲线的拟合度($R^2 = 0.929$, $F_{0.01(1,215)} = 2816.255$, $P < 0.01$),高于线性回归($R^2 = 0.826$, $F_{0.01(1,215)} = 1029.580$, $P < 0.01$),因此可以认为,样本量大小足以用来描述长江口中国花鲈的食性;团结沙采样点样品的累积饵料生物总数曲线 Logistic 曲线的拟合度($R^2 = 0.932$, $F_{0.01(1,97)} = 1350.446$, $P < 0.001$)高于线性回归($R^2 = 0.856$, $F_{0.01(1,97)} = 584.125$, $P < 0.01$),东旺沙采样点的累积饵料生物总数曲线 Logistic 曲线的拟合度($R^2 = 0.913$, $F_{0.01(1,116)} = 1235.714$, $P < 0.01$)高于线性回归($R^2 = 0.852$, $F_{0.01(1,116)} = 672.140$, $P < 0.01$),因此,两个采样点的样品大小足以用来做后续分析。

2.2 中国花鲈的食性分析

2.2.1 饵料生物组成

长江口中国花鲈胃含物饵料生物分析结果(表 1),鉴定出饵料生物共 3 大类 6 小类 27 种。由表 1 可知,在种类数上,饵料生物组成中节肢动物占优势,包括虾类、蟹类、口足类和等足类 4 类在内的 13 种。其次是鱼类和软体动物。

2.2.2 主要类群分布

图 3 为中国花鲈饵料生物中 3 大类(鱼类、节肢动物和软体动物)的 $N\%$ 、 $W\%$ 、 $F\%$ 图示。结合表 1 和图 3 可知,在 6 个类群中,鱼类的各个指数都是占据绝对优势的。依据数量百分比来看,鱼类为 44.44%,接近饵料总数量的一半;其次为虾类和等足类, $N\%$ 分别为 28.14% 和 18.28%。依据重量百分比来看,鱼类为 87.44%,其次为虾类和蟹类,但 $W\%$ 均不超过 10%。依据出现频率来看,鱼类为 86.63%,其次为虾类和蟹类,分别为 35.94% 和 17.04%。

中国花鲈饵料生物类群两个综合性指数中, $IRI\%$ 以鱼类最高(82.63%),虾类次之(10.78%),第三位是等足类(4.02%)。 I_p 分析结果与 $IRI\%$ 略有不同,鱼类最高(94.48),其次为虾类(4.08),但蟹类为第三

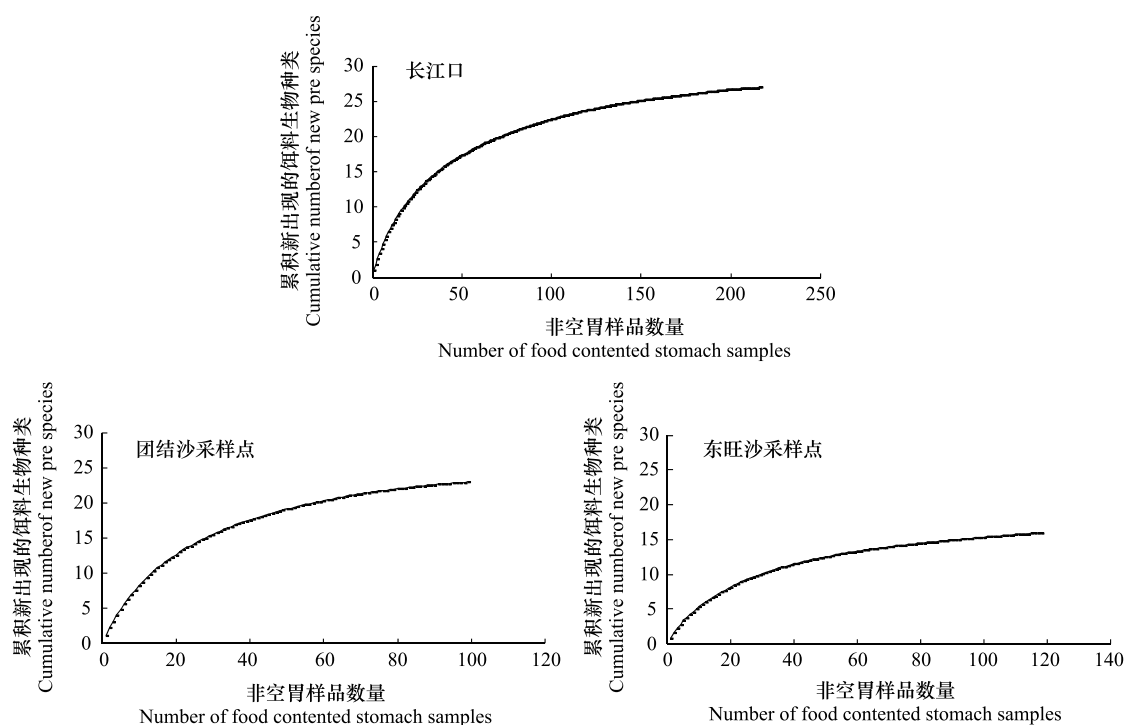


图2 长江口和两个采样点中国花鲈的累积饵料生物总数曲线

Fig. 2 Cumulative prey curve for *Lateolabrax maculatus* of different sampling points

(1.28)。两个指标中,口足类和瓣鳃类均排列最后。

2.2.3 主要种类和重要性分析

中国花鲈饵料生物中 $N\%$ 最高的种类是雷伊著名团水虱 (*Gnorimosphaeroma rayi*), 占 16.84%; $W\%$ 和 $F\%$ 最高的均为鲃 (*Liza haematocheila*), 分别为 23.25% 和 27.65%。 IRI 最高的是鲃 ($IRI\% = 41.89\%$), 其次是安氏白虾 (*Exopalaemon annandalei*, $IRI\% = 5.52\%$) 和雷伊著名团水虱 (*Gnorimosphaeroma rayi*, $IRI\% = 3.89\%$), 其余种类指数均不超过 3%; I_p 最高的也是鲃 ($I_p = 53.20$), 其次为长蛇鮈 (*Saurogobio dumerili*, $I_p = 4.16$) 和中国花鲈 (3.44), 其余种类指数均不超过 3。

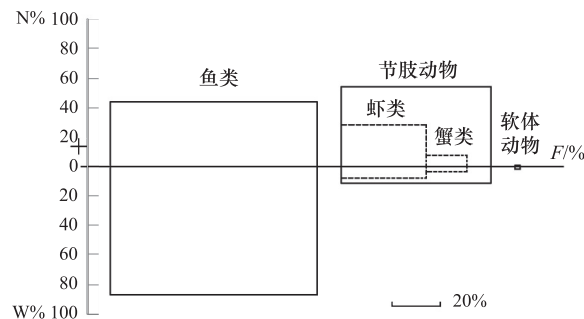
2.2.4 中国花鲈饵料多样性分析

长江口中国花鲈的饵料生物多样性分析结果为:多样性指数 H' 值为 2.484, 均匀度指数 J' 为 0.7535, 饵料优势指数 D 为 0.1262。

2.3 采样点间的中国花鲈食性比较

采用 Morisita 简化相似性指数来分析两个采样点间中国花鲈的饵料相似性, 计算得 C 值为 0.541, 小于 0.6, 表明两个采样点间中国花鲈食性相似性不显著, 存在一定的差异。

对团结沙、东旺沙和总样品中的 27 种饵料生物进行主成分分析 (PCA), 主成分的特征值、方差贡献率和累积方差贡献率见表 2, 27 种饵料生物对前两个主成分的负荷值见表 3。前两个主成分的累积贡献率就达到了 100%, 第一主成分受鲃属 (*Coilia* spp.)、舌虾虎鱼 (*Glossogobius giuris*)、脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*) 和雷伊著名团水虱的影响最大, 其次是矛尾虾虎鱼 (*Chaeturichthys stigmatias*)、长蛇鮈 (*Saurogobio dumerili*)、中国花鲈、大银鱼 (*Protosalanx chinensis*) 和中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*)。而第二主成分受口虾蛄

图3 长江口中国花鲈饵料生物主要类群的 $N\%$ 、 $W\%$ 、 $F\%$ Fig. 3 Frequency of occurrence ($F\%$), abundance ($N\%$) and biomass ($W\%$) of main prey categories

(*Oratosquilla oratoria*) 影响最大。

表 1 长江口中国花鲈的所有饵料生物百分比相对重要性指数和综合指标优势指数

Table 1 Percent index of relative importance ($IRI\%$) values and index of reponderance (I_p) for *L. maculatus* stomach samples

饵料种类 Prey categories	$N\%$	$W\%$	$F\%$	$IRI\%$	I_p
鱼类 Fishes	44.44	87.44	86.62	82.63	94.48
鲃 <i>Liza haematocheila</i>	16.13	23.25	27.65	41.89	53.20
鲚属 <i>Coilia</i> spp.	3.05	5.08	5.53	1.73	2.33
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	2.51	4.88	5.53	1.57	2.23
长蛇鲇 <i>Saurogobio dumerili</i>	1.61	18.20	2.76	2.11	4.16
中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	1.25	18.06	2.30	1.71	3.44
鲮 <i>Mugil cephalus</i>	0.89	0.95	1.84	0.13	0.14
斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i>	0.72	5.32	1.38	0.32	0.61
方头鱼 <i>Branchiostegus</i> spp.	3.22	0.42	0.92	0.13	0.03
贝氏 <i>Hemiculter bleekeri</i>	0.36	1.65	0.92	0.07	0.13
舌虾虎鱼 <i>Glossogobius giuris</i>	0.18	0.19	0.46	0.01	0.01
大银鱼 <i>Protosalanx chinensis</i>	0.18	0.04	0.46	0.01	*
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	0.18	0.04	0.46	0.01	*
不可辨鱼类 Unidentified pisces	14.16	9.36	36.41	32.94	28.20
虾类 Shrimps	28.14	7.48	35.94	10.78	4.08
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	13.62	0.54	10.14	5.52	0.45
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	4.84	3.35	6.45	2.03	1.79
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	1.97	1.20	4.61	0.56	0.46
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	3.05	0.16	2.76	0.34	0.04
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	0.54	0.81	1.38	0.07	0.09
不可辨虾 Unidentified shrimps	4.12	1.42	10.60	2.26	1.25
蟹类 Crabs	8.06	3.70	17.04	2.47	1.28
狭额绒螯蟹 <i>Eriocheir leptognathus</i>	4.30	1.15	9.68	2.03	0.92
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	0.89	0.66	2.30	0.14	0.13
伍氏拟厚蟹 <i>Helicana wuana</i>	0.54	0.24	1.38	0.04	0.03
无齿螯臂相手蟹 <i>Chiromantes dehaani</i>	1.25	1.11	0.92	0.09	0.08
不可辨蟹 Unidentified crabs	1.08	0.54	2.76	0.17	0.12
口足类 Stomatopoda	0.18	0.00	0.46	*	*
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	0.18	0.00	0.46	*	*
等足类 Isopoda	18.28	0.07	9.67	4.02	0.03
雷伊著名团水虱 <i>Gnorimosphaeroma rayi</i>	16.84	0.04	5.99	3.89	0.02
安氏类闭尾水虱 <i>Cleantoides annandalei</i>	1.08	0.03	2.76	0.12	0.01
光背节鞭水虱 <i>Synidotea laevidorsalis</i>	0.36	0.00	0.92	0.01	*
瓣鳃类 Mussels	0.90	1.31	2.30	0.10	0.13
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	0.54	0.57	1.38	0.06	0.07
四角蛤蜊 <i>Mactra veneriformis</i>	0.36	0.74	0.92	0.04	0.06

“*”表示数值小于0.01

表 2 前 2 个主成分的特征值、方差贡献率和累积贡献率

Table 2 Eigenvalues, percentage variation and Cum. %Variation explained by the first two principal components

PC	特征值 Eigenvalues	方差 % Variation	累积方差 Cum. % Variation
1	24.43	90.5	90.5
2	2.57	9.5	100

表 3 27 种饵料生物对前两个主成分的负荷值

Table 3 Loadings by the first two principal components for 27 kinds of preys

饵料种类 Prey categories	PC1	PC2
鲮 <i>Liza haematocheila</i>	0.199	0.116
鲚属 <i>Coilia</i> spp.	-0.202	0.035
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	-0.201	0.075
长蛇鲻 <i>Saurogobio dumerili</i>	-0.201	0.062
中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	-0.201	0.059
鲻 <i>Mugil cephalus</i>	0.186	0.245
斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i>	-0.201	0.071
方头鱼 <i>Branchiostegus</i> spp.	-0.196	0.151
贝氏 <i>Hemiculter bleekeri</i>	-0.200	0.087
舌虾虎鱼 <i>Glossogobius giuris</i>	-0.202	0.051
大银鱼 <i>Protosalanx chinensis</i>	-0.201	-0.067
孔鲈虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	0.185	-0.252
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	-0.182	-0.271
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	-0.202	-0.048
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.199	0.105
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	0.198	-0.132
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	0.184	0.260
狭额绒螯蟹 <i>Eriocheir leptognathus</i>	-0.196	-0.149
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	-0.201	0.067
伍氏拟厚蟹 <i>Helicana wuana</i>	0.022	-0.620
无齿螯臂相手蟹 <i>Chiromantes dehaani</i>	-0.199	0.116
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	0.163	0.368
雷伊著名团水虱 <i>Gnorimosphaeroma rayi</i>	0.202	-0.027
安氏类闭尾水虱 <i>Cleantiodides annandalei</i>	-0.198	-0.127
光背节鞭水虱 <i>Synidotea laevidorsalis</i>	-0.193	0.184
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	-0.199	0.120
四角蛤蜊 <i>Macra veneriformis</i>	-0.200	0.096

3 讨论

3.1 长江口中国花鲈的饵料生物组成

中国花鲈属肉食性鱼类。在本研究中,长江口中国花鲈的食谱很广,包含了 27 种生物,其多样性指数 H' 值为 2.484,均匀度指数 J' 为 0.7535,优势指数 D 为 0.1262。Washington^[19] 的研究表明,在大多数的生态群落中, H' 值的大小不会超过 5.0;而 Heather^[20] 等人的研究指出当多样性指数值较高时,会导致鱼类饵料具有较高的不确定性;郑颖等人^[21] 发现当优势度较低时,饵料生物优势种群集中性较低。长江口中国花鲈饵料的多样性指数属于中等水平,故不确定性较低,饵料生物优势种群集中性较高。优势种群集中性较高也与饵料生物中鱼类的 $IRI\%$ 和 I_p 值在饵料生物中绝对地位相符合。中国花鲈主要以鱼类为食,而鱼类对饵料的选择性主要和栖息水域中可供摄食生物的种类、数量有关^[22]。长江口水域具有海洋和淡水两种特征,具有丰富的生物多样性^[23],其饵料包含了河口咸淡水型、淡水型、海洋型等各种生态类型的鱼类^[24],这就与其他环境的中国花鲈食性产生了很大的不同,如郭瑞昕等人^[25] 研究得到灌河河口的中国花鲈主要以小型甲壳动物为食,而本研究中主要以鱼类为食。

本研究中,中国花鲈的优势饵料生物是鲮。孙幅英等人^[7] 根据 1986—1987 年对长江口中国花鲈食性调查发现,中国花鲈饵料生物中虾类占很大地位,几乎占到一半水平 ($F\%$),而 0⁺ 龄鱼则主要以虾类为食,其出现率和平均容积率分别高达 63.5% 和 44.5%。罗刚等^[26] 研究得到 2004、2005 年夏季长江口中国花鲈的主

要饵料生物种类有鲚属、脊尾白虾、光背节鞭水虱 (*IRI%* 分别为 42.25%、16.85% 和 9.77%), 而这 3 种饵料生物在本研究的 *IRI%* 分别是 2.33%、1.79% 和 0.02%。与以往的研究相比, 长江口中国花鲈的饵料组成与以往相比发生了较大的变化, 饵料优势生物出现了明显的更替现象, 这与长江口的生态系统结构发生变化^[26]有很大关系。张衡^[24]、郑颖等^[21]的研究显示长江口的捕捞作业, 尤其是鳗苗捕捞, 因其网具网目尺寸小, 作业时间长, 对渔业资源破坏极大, 其中包括大量虾类的幼体和刀鲚、凤鲚等经济类生物。Washington^[19]研究表明, 外部的扰动, 特别是在过高强度的捕捞强度下, 鱼类的多样性会发生下降, Pauly 等^[27]也提出过类似的观点, 即在捕捞的影响下, 经济价值高的种类持续减少, 导致环境中的生物向小个体、较低营养层次和经济价值的种类转变。这些影响通过生物群落的演替过程进一步逐级放大, 最终对生态系统造成影响^[28]。鲢之所以成为中国花鲈的优势饵料生物, 一方面是因为其目前为长江口鱼类群落中的优势种^[29]; 另一方面是因为鲢的繁殖时间为 4—6 月, 在本研究采样时间段, 大量鲢稚鱼聚集在长江口摄食肥育, 成为众多肉食性鱼类的饵料生物^[26]。长江口鱼类群落的变化, 会导致中国花鲈的饵料生物发生相应变化, 从中国花鲈的食性分析中也可以部分的反映其生存环境的生态群落变化, 这与林龙山^[30]对长江口近海小黄鱼食性分析得出的结论一致。

3.2 不同采样点间中国花鲈食性比较

两个采样点中国花鲈的饵料生物相似性不显著, 差异较明显, 其最主要的原因是水域环境中的可供摄食的水生生物种类、数量不一致^[29]。受长江北支盐水倒灌和南支冲淡水的影响, 东旺沙采样点的盐度较团结沙要高, 而盐度是水生生物生长的重要环境因子^[31], 从而导致两个采样点的生物群落产生显著差异^[29], 进而在中国花鲈的饵料组成中得到反映。主成分分析 (PCA) 主要是用来识别数据模式, 然后突出其相同点和不同点。本研究通过分析 PCA 的数据, 说明了两个采样点样品和总采样点样品的差异, 具体是由鲚属、舌虾虎鱼、脊尾白虾、雷伊著名团水虱等生物因素提供的。得到的结果也验证了两个位点环境中水生生物种类、丰度的不同。后续研究中可以探讨通过一种生物的饵料生物变化来放大大了解其生活环境变化的可行性。

3.3 统计方法的重要性

目前关于食性研究方面的中文文献中, 普遍缺乏统计方面的支持, 尤其是在比较物种间食性差别, 或条件不同的情况下物种食性差别的情况下, 统计数据更是稀少。运用各种方法进行比较, 对结果不会产生本质的差别, 但是当研究者试图量化这些差异时, 会产生很大的误差, 这就对统计方法的选择提出了要求。

3.3.1 累积曲线的重要性

Ferry^[12]等人指出在统计推论中, 要提高统计功效 (statistical power) 的大小, 既要控制弃真错误 (α 错误, 指原假设为真, 但检验的结果拒绝了原假设), 又要控制纳伪错误 (β 错误, 指原假设为假, 但检验的结果接受了原假设), 满足双重控制条件下的样本量才是最有效的样本量。所以为了使实验结果能够说明物种食性, 需通过累积曲线来判断样本量的有效性。

在计算样本量的大小是否足够时, 有以下几种不同的方法: 计算累积曲线最后 4 个点所形成的直线和 y 轴的角度是否趋近于 90° ^[32]; 随机排列胃含物时, 每个生成的点都会有一个标准偏差, 直接观察最后几个点的标准偏差是否为 0, 借此来判断累积曲线是否趋近于渐近线^[33]; 对曲线进行 Logistic 曲线拟合和线性关系分析, 比较前者拟合度 R^2 的是否大于后者^[13]; 直接观察是否为趋近线。

3.3.2 数据计算方法的选择

在用单一性指数进行评估时, 会涉及到一个问题, 即由于饵料生物大小差别, 通常会发生在胃中个数多的饵料生物其个体和质量反而小; 个数少的饵料生物, 可能会出现质量大的情况。这表明数量百分比和质量百分比无法全面的反应胃容物中各种饵料生物的重要性。越来越多的食性研究中使用综合性的指数进行评估^[12, 34]。本文中使用了两个综合性指数对中国花鲈饵料生物进行评估, 得到的最重要的饵料生物种类均为鲢, 结果一致。但是在之后的评价中, 结果却较为不同, *IRI%* 分析中次重要的饵料生物为安氏白虾, 其次为狭额绒螯蟹; I_p 分析中次重要的饵料生物为长蛇鮈, 其次为中国花鲈。结合它们这几种饵料生物其它单一性指数可以看出, 安氏白虾对重要性分析的贡献主要在于数量多, 狭额绒螯蟹对重要性分析的贡献主要在于出现

频率高,而长蛇鮈和中国花鲈的贡献主要在于单位个体重量大。鱼类在体型上普遍大于虾类、蟹类,而在栖息密度上小于它们,这就造成了两个指数的不同。但是两个综合指数在鲈上的统一,强调了鲈在中国花鲈饵料中的重要性,也从侧面反应了其在长江口生态群落中的重要地位。在本研究中,不能根据某一个综合指数来判断中国花鲈的饵料生物重要性,上述5种饵料生物都在中国花鲈的饵料中占有重要地位。因此,在以后的研究中有必要综合多种指数,来说明物种的食性。

致谢:感谢崇明东滩鸟类国家级自然保护区马强科长和滕吉艳工程师在样品采集方面给予的帮助。

References:

- [1] Yang R B, Xie C X. A review of fish feeding ecology and methods. *Reservoir Fisheries*, 2000, 20(3): 1-3.
- [2] Deagle B E, Chiaradia A, McInnes J, Jarman S N. Pyrosequencing faecal DNA to determine diet of little penguins: is what goes in what comes out?. *Conservation Genetics*, 2010, 11(5): 2039-2048.
- [3] Zhuang P, Wang Y H, Li S F, Deng S M, Li C S, Ni Y, Zhang L Z, Zhang T, Feng G P, Ling J Z. *Fishes of the Yangtze Estuary*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2006.
- [4] Liao G Z. Ecological characteristics and pond culture of *Lateolabrax maculatus*. *Fisheries Science and Technology Information*, 1998, 25(3): 130-132.
- [5] Wang Y, Hu X C, Luo Y. Effects of salinity on growth and fatty acids composition of juvenile *Lateolabrax japonicus*. *Journal of Chongqing Normal University: Natural Science Edition*, 2007, 24(2): 62-66.
- [6] Kumar S, Tamura K, Nei M. MEGA3: integrated software for molecular evolutionary genetics analysis and sequence alignment. *Briefings in Bioinformatics*, 2004, 5(2): 150-163.
- [7] Sun G Y, Zhu Y Y, Chen J G, Zhou Z L. Growth and feeding habits of Japanese sea-bass, *Lateolabrax japonicus*, in the estuary of Yangtze River. *Journal of Fisheries of China*, 1994, 18(3): 183-189.
- [8] Ji W W, Li S F, Chen X Z. Application of fish trophic level in marine ecosystem. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(4): 878-887.
- [9] Feng G P, Zhuang P, Liu J, Zhang T, Li C S, Zhang L Z, Zhao F, Huang X R. Community diversity and growth characteristic of fish in Tuanjiesha along the eastern beach of Chongming Island. *Marine Fisheries*, 2007, 29(1): 38-43.
- [10] Xue Y, Xu B D, Gao T X, Qiu T L, Lin L S. Preliminary study on feeding ecology of *Liparis tanakae* in north Yellow Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(5): 1066-1074.
- [11] Jennings S, Kaiser M J. The effects of fishing on marine ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 1998, 34: 201-212.
- [12] Ferry L A, Cailliet G M. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly//MacKinley D, Shearer K, eds. *Feeding, Ecology and Nutrition in Fish*. San Francisco: American Fisheries Society, 1996: 71-80.
- [13] Castriota L, Scarabello M P, Finoia M G, Sinopoli M, Andaloro F. Food and feeding habits of pearly razorfish, *Xyrichtys novacula* (Linnaeus, 1758), in the southern Tyrrhenian Sea: variation by sex and size. *Environmental Biology of Fishes*, 2005, 72(2): 123-133.
- [14] Cortés E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, 54(3): 726-738.
- [15] Mohan M V, Sankaran T M. Two new indices for stomach content analysis of fishes. *Journal of Fish Biology*, 1988, 33(2): 289-292.
- [16] Krebs C J. *Ecological Methodology*. 2nd ed. Petaluma: Addison Wesley Longman, 1999: 620-620.
- [17] Scrimgeour G J, Winterbourn M J. Diet, food resource partitioning and feeding periodicity of two riffle-dwelling fish species in a New Zealand river. *Journal of Fish Biology*, 1987, 31(3): 309-324.
- [18] McGarigal K, Cushman S, Stafford S. *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research*. 3rd ed. Heidelberg: Springer Verlag, 2000: 283-283.
- [19] Washington H G. Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 1984, 18(6): 653-694.
- [20] Robinson H J, Cailliet G M, Ebert D A. Food habits of the longnose skate, *Raja rhina* (Jordan and Gilbert, 1880), in central California waters. *Environmental Biology of Fishes*, 2007, 80(2/3): 165-179.
- [21] Zheng Y, Dai X J, Zhu J F. Catch composition and diversity analysis of set net in Yangtze estuary. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(20): 9510-9513.
- [22] Zhang X J, Cheng J H, Shen W, Liu Z L. Feeding ecology of *Lophius litulon* in the south of Yellow Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3117-3125.

- [23] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [24] Zhang H. The Ecological Characteristics of Fish Communities in the Yangtze Estuarine Wetlands, China [D]. Shanghai: East China Normal University, 2007.
- [25] Guo R X, Gu S Y, Liu X W, Yang J X. Digestive system anatomy and feeding habit analysis of *Lateolabrax maculatus* in Guan River estuary. *Reservoir Fisheries*, 2008, 28(3): 19-21.
- [26] Zhuang P, Luo G, Zhang T, Zhang L Z, Liu J, Feng G P, Hou J L. Food comparison among juvenile *Acipenser sinensis* and other six economic fishes in the Yangtze estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20): 5544-5554.
- [27] Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, Froese R, Torres F Jr. Fishing down marine food webs. *Science*, 1998, 279(5352): 860-863.
- [28] Rochet M J, Trenkel V M. Which community indicators can measure the impact of fishing? A review and proposals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2003, 60(1): 86-99.
- [29] Zhang T, Zhuang P, Liu J, Zhang L Z, Feng G P, Hou J L, Zhao F, Liu J Y. Species composition and biodiversity of fish community in Chongming Dongtan of Yangtze River estuary. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 2056-2062.
- [30] Lin L S. Study on feeding habit and trophic level of redlip croaker in Changjiang estuary. *Marine Fisheries*, 2007, 29(1): 44-48.
- [31] Selleslagh J, Amara R, Laffargue P, Lesourd S, Lepage M, Girardin M. Fish composition and assemblage structure in three Eastern English Channel macrotidal estuaries: a comparison with other French estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 81(2): 149-159.
- [32] Bizzarro J J, Robinson H J, Rinewalt C S, Ebert D A. Comparative feeding ecology of four sympatric skate species off central California, USA. *Environmental Biology of Fishes*, 2007, 80(2/3): 197-220.
- [33] Scenna L B, García de la Rosa S B, Díaz de Astarloa J M. Trophic ecology of the Patagonian skate, *Bathyraja macloviana*, on the Argentine continental shelf. *ICES Journal of Marine Science*, 2006, 63(5): 867-874.
- [34] Braccini J M, Gillanders B M, Walker T I. Sources of variation in the feeding ecology of the piked spurdog (*Squalus megalops*): implications for inferring predator-prey interactions from overall dietary composition. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(6): 1076-1094.

参考文献:

- [1] 杨瑞斌, 谢从新. 鱼类摄食生态研究内容与方法综述. *水利渔业*, 2000, 20(3): 1-3.
- [3] 庄平, 王幼槐, 李圣法, 邓思明, 李长松, 倪勇, 章龙珍, 张涛, 冯广朋, 凌建忠. 长江口鱼类. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [4] 廖国璋. 花鲈的生态特性及池塘养殖问题. *水产科技情报*, 1998, 25(3): 130-132.
- [5] 王艳, 胡先成, 罗颖. 盐度对鲈鱼稚鱼的生长及脂肪酸组成的影响. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 24(2): 62-66.
- [7] 孙帼英, 朱云云, 陈建国, 周忠良. 长江口花鲈的生长和食性. *水产学报*, 1994, 18(3): 183-189.
- [8] 纪炜炜, 李圣法, 陈雪忠. 鱼类营养级在海洋生态系统研究中的应用. *中国水产科学*, 2010, 17(4): 878-887.
- [9] 冯广朋, 庄平, 刘建, 张涛, 李长松, 章龙珍, 赵峰, 黄晓蓉. 崇明东滩团结沙鱼类群落多样性与生长特性. *海洋渔业*, 2007, 29(1): 38-43.
- [10] 薛莹, 徐宾铎, 高天翔, 邱天龙, 林龙山. 北黄海细纹狮子鱼摄食生态的初步研究. *中国水产科学*, 2010, 17(5): 1066-1074.
- [21] 郑颖, 戴小杰, 朱江峰. 长江河口定置张网渔获物组成及其多样性分析. *安徽农业科学*, 2009, 37(20): 9510-9513.
- [11] 张学健, 程家骅, 沈伟, 刘尊雷. 黄海南部黄鲛鰈摄食生态. *生态学报*, 2010, 30(12): 3117-3125.
- [24] 张衡. 长江河口湿地鱼类群落的生态学特征 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [25] 郭瑞昕, 顾曙余, 刘小维, 杨家新. 灌河口口花鲈消化系统的解剖与食性分析. *水利渔业*, 2008, 28(3): 19-21.
- [26] 庄平, 罗刚, 张涛, 章龙珍, 刘建, 冯广朋, 侯俊利. 长江口水域中华鲟幼鱼与 6 种主要经济鱼类的食性及食物竞争. *生态学报*, 2010, 30(20): 5544-5554.
- [29] 张涛, 庄平, 刘健, 章龙珍, 冯广朋, 侯俊利, 赵峰, 刘鉴毅. 长江口崇明东滩鱼类群落组成和生物多样性. *生态学杂志*, 2009, 28(10): 2056-2062.
- [30] 林龙山. 长江口近海小黄鱼食性及营养级分析. *海洋渔业*, 2007, 29(1): 44-48.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,280页,国内定价70元/册,全年定价1680元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话: (010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn **网 址:** www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981年3月创刊)
第32卷 第13期 (2012年7月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

编辑	《生态学报》编辑部	Edited by	Editorial board of
	地址:北京海淀区双清路 18 号		ACTA ECOLOGICA SINICA
	邮政编码:100085		Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
	电话:(010)62941099		Tel:(010)62941099
	www.ecologica.cn		www.ecologica.cn
	shengtaixuebao@rcees.ac.cn		Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主办	中国生态学学会	Sponsored by	Ecological Society of China
	中国科学院生态环境研究中心		Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
	地址:北京海淀区双清路 18 号		Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
	邮政编码:100085		
出版	科学出版社	Published by	Science Press
	地址:北京东黄城根北街 16 号		Add:16 Donghuangchenggen North Street,
	邮政编码:100071		Beijing 100071, China
印刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House,
发行	科学出版社		Beijing 100083, China
	地址:东黄城根北街 16 号	Distributed by	Science Press
	邮政编码:100717		Add:16 Donghuangchenggen North
	电话:(010)64034563		Street, Beijing 100717, China
	E-mail:journal@cspg.net		Tel:(010)64034563
订购	全国各地邮局		E-mail:journal@cspg.net
国外发行	中国国际图书贸易总公司	Domestic	All Local Post Offices in China
	地址:北京 399 信箱	Foreign	China International Book Trading
	邮政编码:100044		Corporation
广告经营	京海工商广字第 8013 号		Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
许可证			

ISSN 1000-0933

9 771000 093125

1 3>